

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennetekniikka

Opinnäytetyö

Mikko Malmberg

## **Matkapuhelinsäteily ja SAR-mittaukset**

Työn ohjaaja  
Tampere 12/2009

Yliopettaja Jorma Punju

Tekijä	Mikko Malmberg
Työn nimi	Matkapuhelinsäteily ja SAR-mittaukset
Sivumäärä	24
Valmistumisaika	31.12.2009
Työn ohjaaja	Yliopettaja Jorma Punju
Avainsanat	matkapuhelin, tukiasema, säteily, SAR, altistuminen, GSM

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyöraportin tarkoituksena on toimia tietopankkina matkapuhelinsäteilystä ja sen vaikutuksista kiinnostuneille. Matkapuhelimien yleistymisen myötä on myös huoli matkapuhelinten turvallisuudesta kasvanut. Tämän työn tarkoituksena onkin koota yhteen matkapuhelinsäteilyyn liittyvää teoriaa, tietoa mahdollisista säteilyn aiheuttamista terveysvaikutuksista sekä kuvata altistumista tutkivien SAR-mittausten periaatteita.

Matkapuhelinjärjestelmässä sekä tukiasema että matkapuhelimet lähettävät sähkömagneettista säteilyä, joka voi absorboitua matkapuhelimen käyttäjään. Matkapuhelinsäteilyn altistumista voidaan vähentää hyödyntämällä esimerkiksi matkapuhelinkoteloita tai handsfree-laitteita, jotka kasvattavat etäisyyttä antennin ja käyttäjän välillä. Myös tekstiviestien kirjoittaminen puheluiden sijaan vähentää kehoon absorboituvaa säteilymäärää.

Matkapuhelinsäteilylle altistumista tutkitaan ominaisabsorptionopeuden eli SAR-mittausten avulla. SAR-mittauksissa pieniä mittapäitä ohjataan tietokoneella ihmisen kehoa jäljittelevän fantomin sisällä. Mittausten tavoitteena on selvittää kudokseen kohdistuva säteilyteho kilogrammaa kohti. Euroopassa suurin sallittu SAR-perusraja on 2 W/ kg. Suomessa Säteilyturvakeskus valvoo markkinoilla olevien matkapuhelimien SAR-arvoja.

Matkapuhelinsäteilyllä ei ole toistaiseksi todettu olevan terveydentilaa heikentäviä vaikutuksia. Ainoa toistaiseksi havaittu fyysinen vaikutus on pieni kudosten lämpötilan nousu. Tällä ei ole kuitenkaan matkapuhelimen käyttäjälle terveydellisiä vaikutuksia. On kuitenkin huomioitava, että ala on varsin tuore ja sairauksien kehittyminen saattaa kestää pitkäänkin. Kaikkia matkapuhelinsäteilyn aiheuttamia terveysvaikutuksia ei siis välttämättä ole vielä löydetty.

Author	Mikko Malmberg
Title	Mobile phone radiation and SAR-measurements
Number of pages	24
Date	31.12.2009
Thesis supervisor	Principal lecturer Jorma Punju
Keywords	mobile phone, base station, radiation, SAR, absorption, GSM

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to act as a database of mobile phone -radiation and SAR-measurements and its implications for those who are interested. The rapid increasing popularity of mobile phones has also increased the amount of concerns about health issues of mobile phones. The purpose of this thesis is to gather information about mobile phone radiation and the possible health effects of radiation from mobile phones.

In a mobile phone system both base station and mobile phone are transmitting electromagnetic radiation, which can be absorbed by the mobile phone user. Mobile phone radiation exposure can be reduced by using Handsfree or other devices that increases the distance between mobile phone antenna and the user. Also using text messages instead of calls reduces the amount of radiation absorbed by the body.

With the help of SAR-measurement we can study the exposure of mobile phone radiation. In SAR-measurements computer is moving a small-scale probe inside the fantom. The goal of the measurement is to indentify the amount of radiation power over human body. In Europe maximum SAR-limit is 2W/kg. In Finland STUK is monitoring the SAR-values of mobile phones.

There isn't any proof yet that mobile phones are causing health issues. So far the only physical effect that is noticed is small temperature rise in tissues. However, it is noted that the subject is very fresh and it might take long time for the illness to develop. So it may be that we haven't found all negative effects of mobile phone radiation yet.

## LYHENTEET JA TERMIT

**NRBP** National Radiological Protection Board.

**SAR** Specific Absorption Rate eli ominaisabsorptionopeus kuvaa radiotaajuisesta sähkömagneettisesta säteilystä kudoksiin absorboitunutta määrää. SAR-mittauksia hyödynnetään matkapuhelinsäteilyn altistumisen arvioinnissa.

**ICNIRP** International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

**RF** Radio Frequency, radiotaajuus.

**WHO** World Health Organization, Maailman terveysjärjestö.

**WIRECOM** Wireless Communication Devices and Human Health.

## Sisällys

Tiivistelmä.....	i
Abstract .....	ii
Lyhenteet ja termit .....	iii
Sisällys .....	iv
1 Johdanto .....	1
2 Mitä säteily on .....	2
2.1 Ionisoiva ja ionisoimaton säteily.....	2
2.2 Säteilyn käyttökohteita .....	3
2.3 Matkapuhelinjärjestelmät ja säteily.....	4
3 Sähkömagneettinen säteily .....	7
3.1 Sähkö- ja magneettikentän riippuvuus .....	7
3.2 Tehotiheys.....	8
3.3. Lähi- ja kaukokenttä.....	9
4 Säteilylle altistuminen ja terveysvaikutukset .....	10
4.1 Altistuminen.....	10
4.2 Säteilyn terveysvaikutukset .....	11
4.2.1 Ionisoimaton säteily.....	11
4.2.2 Ionisoiva säteily.....	12
4.3 Altistumisen välttäminen.....	12
5 SAR-mittaukset.....	13
5.1 Mikä on SAR .....	13
5.2 Mittausperiaatteet.....	13
5.3 Mittalaitteet.....	14
5.4 Mittaustapahtuma .....	15
5.5 Mittaaminen lämpötila-antureilla.....	17
5.6 Mittaustulosten analyysi .....	18
5.7 Matkapuhelimien SAR-arvot.....	18
6 Matkapuhelinsäteily puhuttaa.....	20
7 Yhteenveto.....	22
Lähteet.....	23

### Liitteet

Liite 1 Matkapuhelinten SAR-arvoja

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty matkapuhelinten aiheuttamaan säteilyyn ja erityisesti altistumista arvioiviin SAR-mittauksiin (Specific Absorption Rate).

Matkapuhelimien käytön yleistymisen myötä myös huoli niiden turvallisuudesta on lisääntynyt. Matkapuhelimien ja niiden tukiasemien lähettämä säteily on asia, jota tutkitaan jatkuvasti. Suomessa matkapuhelimien säteilyrajoista vastaa Säteilyturvakeskus, joka myös suorittaa säännöllisiä mittauksia markkinoilla oleville matkapuhelimille. Kehon altistumista matkapuhelinsäteilylle voidaan selvittää ominaisabsorptionopeuden eli SAR-mittausten avulla.

Tutkintotyön toisessa luvussa käydään läpi säteilyn luonnollisia lähteitä sekä säteilyn mahdollisia käyttökohteita. Luvussa esitellään myös säteilyä aiheuttavan matkapuhelinjärjestelmän perusrakennetta. Kolmannessa luvussa tutustutaan tarkemmin sähkömagneettisen säteilyn teoriaan, sähkö- ja magneettikenttien riippuvuuteen sekä tehosiheyteen. Neljännessä luvussa käsitellään matkapuhelinsäteilylle altistumista sekä sen mahdollisia terveysvaikutuksia.

Viidennessä ja tärkeimmässä luvussa perehdytään sitten varsinaisiin SAR-mittauksiin, mittausperiaatteisiin, sallittuihin arvoihin sekä tulosten analyysiin. Kuudenteen lukuun on vielä lopuksi koottu joitakin näkökantoja, joita lehdistössä on esitetty matkapuhelinsäteilyyn liittyen viime vuosien aikana.

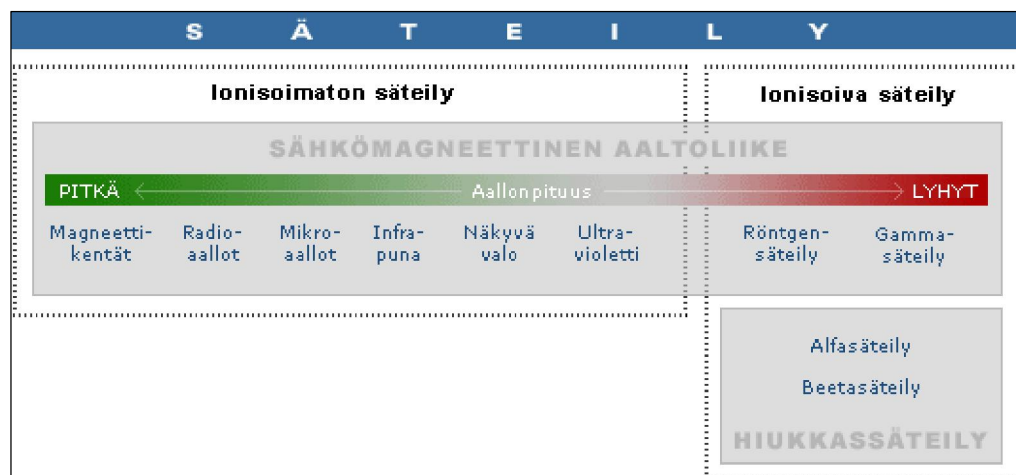
## 2 Mitä säteily on

### 2.1 Ionisoiva ja ionisoimaton säteily

Säteilyä on kaikkialla, se kuuluu luonnollisena osana elinympäristöömme. Säteily voi esiintyä joko ionisoivana tai ionisoimattomana (kuva 1). Se voi toisaalta olla joko sähkömagneettista aaltoliikettä tai hiukkassäteilyä. Kodin tyypillisimpiä säteilylähteitä ovat mikroaaltouuni, televisio, palovaroitin, kello, sähköporakone sekä pölynimuri. [1]

Ionisoiva säteily on aaltopituudeltaan lyhyttä säteilyä, joka on peräisin radioaktiivisista aineista sekä esimerkiksi röntgenlaitteista. Ionisoivassa säteilyssä on tarpeeksi energiaa irrottamaan säteilyn kohteeksi joutuvan aineen atomeista elektroneja tai rikkomaan sen molekyylejä. [1]

Ionisoimaton säteily on puolestaan pidempää, sähkömagneettista aaltoliikettä. Ionisoimatonta säteilyä on luonnollisesti auringonsäteilyssä. Sitä hyödynnetään myös esimerkiksi matkapuhelimissa, lasereissa, solariumeissa, mikroaaltouuneissa sekä magneettikuvauslaitteissa. Matkapuhelimista puhuttaessa on siis kyse nimenomaan ionisoimattomasta, tarkemmin radiotaajuisesta säteilystä. [1] ja [2]



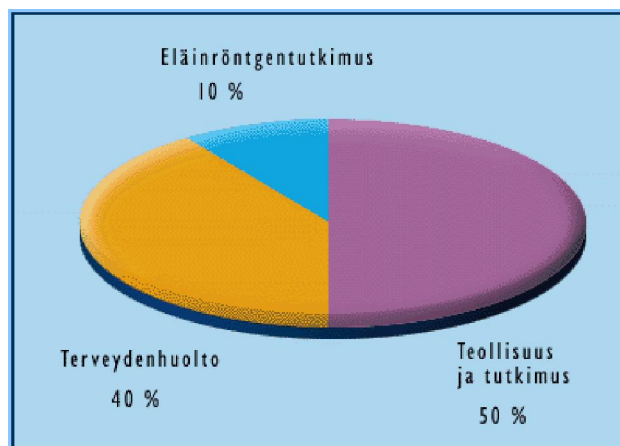
Kuva 1 Ionisoimaton ja ionisoiva säteily [1]

## 2.2 Säteilyn käyttökohteita

Yleinen käsitys säteilystä on, että se on hyvinkin haitallista. Kuitenkin säteilyn avulla ja sitä hyödyksi käyttäen on valmistettu ihmisille hyödykkeitä, jotka helpottavat jokapäiväistä elämää.

Säteilyturvakeskuksen mukaan säteilyä hyödynnetään esimerkiksi terveydenhuollossa, röntgentutkimuksissa, biokemian ja fysiologian tutkimuksissa sekä teollisuudessa. Usein haitallisena nähty säteily tuo siis mukanaan monia positiivisia käyttötarkoituksia. Teollisuudessa säteilyä hyödynnetään pääasiassa laadunvalvonnassa ja mittojen tai koostumusten seurannassa. [2]

Terveydenhuollossa säteilyä hyödynnetään tutkimisessa sekä hoitamisessa. Esimerkiksi röntgentutkimuksissa ja sädehoidossa hyödynnetään ionisoivaa säteilyä. Tutkimuksissa säteilyaltistuksen määrä pyritään minimoimaan, mutta säteilytehon on kuitenkin oltava riittävä tutkimuksen suorittamiseen. Sädehoidossa puolestaan tavoitteena on hoitaa kohdetta säteilyttämällä sitä ulkoisesti tai sisäisesti. Tavoitteena voi olla esimerkiksi syöpäkasvaimen tuhoaminen. [2]



**Kuva 2 Röntgensäteilyn käyttökohteet [2]**

Kuvassa 2 on esitetty säteilyn käyttökohteet ja niiden suhteelliset osuudet. Suomessa säteilyä käytetään noin 1500 paikassa, ja yksittäisiä säteilylähteitä tai -laitteita on käytössä 9000, poislukien hammasröntgenlaitteet. [2]



Röntgentutkimuksella on suuri merkitys tunnistettaessa sairauksia, mutta samaan aikaan altistetaan kehoa haitalliselle säteilylle. Pienikin säteilyannos lisää hieman riskiä sairastua syöpään [1]. Säteilyn terveysvaikutuksia on esitelty tarkemmin luvussa 4.

### *2.3 Matkapuhelinjärjestelmät ja säteily*

Matkapuhelinjärjestelmä koostuu tukiasemasta ja siihen yhteydessä olevasta matkapuhelimesta. Matkapuhelin on radiolähetin ja -vastaotin, jolla on tukiaseman kautta yhteys matkapuhelinverkkoihin. Matkapuhelin ja tukiasema lähettävät radiotaajuista säteilyä. [3]

Kun matkapuhelinkäyttäjä muodostaa yhteyttä soittaessaan puhelua tai viestiä lähettääkseen, muuntuu informaatio digitaaliseen muotoon ja siirtyy puhelimesta radiotaajuuksien avulla solun kattamaan tukiasemaan, josta tukiasema lähettää informaation eteenpäin toiseen matkapuhelinverkkoon tai muihin televerkkoihin. Lopuksi informaatio kulkee taas langattomassa muodossa tukiasemalta kohteeseen. Matkapuhelimien ja tukiasemien antennit siis säteilevät radioaaltoja, muut osat monimutkaisesta matkapuhelinjärjestelmästä ovat suljettuja eivätkä aiheuta turvallisuuden kannalta merkittäviä säteilyjä. Luvussa 4 tutustutaan tarkemmin säteilymääriin. [4]

Vuonna 2005 radiopuhelin-järjestelmiä oli Suomessa kolme: GSM 900, GSM 1800 sekä lähellä 2000 MHz:n taajuutta toimiva UMTS/WCDMA -järjestelmä (taulukko 1). Lisäksi Suomessa on TETRA -perusteinen digitaalinen viranomaisten käytössä oleva järjestelmä sekä langaton DECT -järjestelmä. [3]

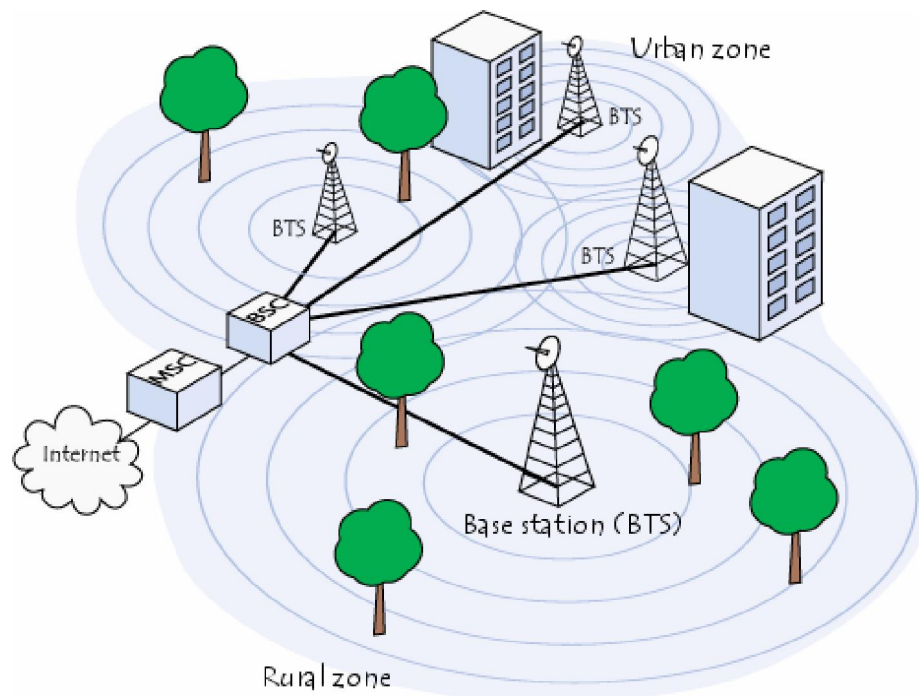
**Taulukko 1: Radiopuhelin-järjestelmät [3]**

<b>Järjestelmä</b>	<b>Taajuus MHz</b>	<b>Pulssin huipputeho, W</b>	<b>Keskimäär. lähetysteho, W</b>
GSM 900	890–915	2	0,25
GSM 1800	1710–1785	1	0,125
UMTS	1920–1980	<1, tyypillisesti 0,25	0,125
TETRA	380–420	1-30	0,25–7,5 (0,75)
DECT	1880–1930	0,08-2	0,01–0,25

Säteilyteho matkapuhelimen lähettimestä on sitä voimakkaampi, mitä heikompi tukiaseman kenttä on. Aiemmasta NMT-verkosta poiketen nykyinen matkapuhelinsäteily on pulssimaista. Pulssi on kestoaltaan 0,6ms ja se toistuu noin 4,6ms välein. UMTS -puhelimessa lähetteet ovat ajallisesti epäsäännöllisiä. [3]

Tukiasemien aiheuttama säteilyteho on suurimmillaan noin 30 W eli tuhannesosa esimerkiksi TV-aseman säteilytehosta. Makrosoluasemat on sijoitettu tyypillisesti korkeaan maastoon ja niiden peittoalue on laajimmillaan alle 20 km. Taajamissa on lisäksi mikrosoluasemia, jotka paikkaavat alle kilometrin säteellä makrosoluasemien katvealueita. Pikosoluasemat toimivat rakennusten sisällä alle 100 m säteellä. Niiden teho on alle 0,25 W eli matkapuhelinta vastaavalla tasolla. [3]

Kuvassa 3 on esitetty malli tukiasemien kentistä. Tukiasemien kattamat kentät ovat kaupunkialueella huomattavasti pienempiä kuin maaseudulla. [5]



**Kuva 3 Tukiasemien kentät [5]**

Radorajapinta on matkapuhelimien ja tukiaseman välinen rajapinta. Radorajapintaa häiritseviä tekijöitä ovat huonosti suunniteltu antenni, riittämätön lähetysteho, maaston muodot (ihmisten tekemät rakennelmat, vuoret jne.) sekä viereisen solun aiheuttama häiriö. Heikko rajapinta tarkoittaa, että tukiaseman kenttä on huono ja täten vaaditaan suurempi säteilyteho. [6]

### 3 Sähkömagneettinen säteily

Ihmiseen vaikuttavat sekä luonnon synnyttämät että ihmisen aiheuttamat sähkömagneettiset kentät. Ihmisen aiheuttamat kentät voivat syntyä tarkoitettusti radio- ja tutkakenttinä tai tahattomasti teollisuuden haja- ja vuotosäteilystä. Luonnon kentät ovat tyypillisesti kohinaa tai transienttikentän piikkejä, esimerkiksi salamakenttiä. [3]

Sähkökenttä syntyy jännite-eroista ja sitä mitataan voltteina metriä kohti (V/m). Magneettikenttä muodostuu puolestaan laitteessa ja johtimessa kulkevasta sähkövirrasta ja sitä mitataan magneettivuon tiheytenä, ja sen yksikkö on tesla (T). Sekä sähkö- että magneettikentät ovat voimakkaimmillaan laitteen lähellä, mutta heikkenevät nopeasti kauemmas siirryttäessä. [3]

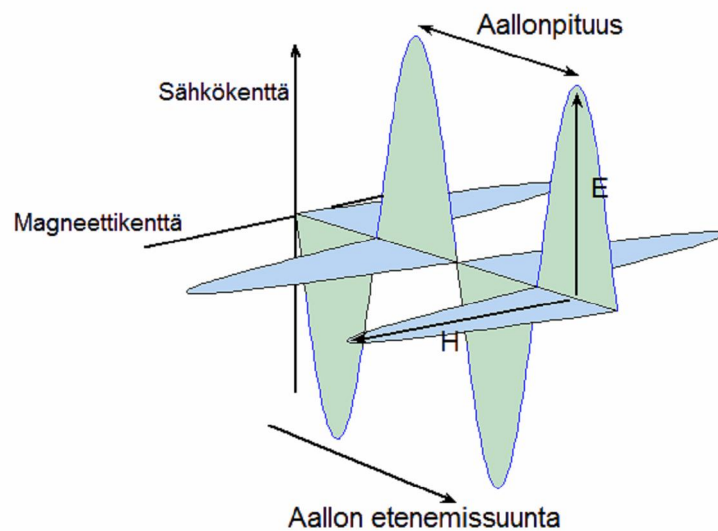
Matkapuhelinjärjestelmien aiheuttama säteily on sähkömagneettista säteilyä, joka tapahtuu radiotaajuudella. Sähkömagneettinen radiotaajuuskenttä tunnetaan myös nimellä RF (Radio Frequency) -kenttä.

#### *3.1 Sähkö- ja magneettikentän riippuvuus*

Sähkömagneettiset kentät muodostuvat kahdesta komponentista: sähkökentästä (E) ja magneettikentästä (H). Kaukokentässä eli noin aallonpituuden etäisyydellä antennista sähkö- ja magneettikenttävektorit ovat kohtisuorassa keskenään. Tällöin säteilytehon suunta on kohtisuorassa näitä molempia vektoreita vastaan. [7]

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Jos siis ajatellaan sähkö- ja magneettikenttien sijaitsevan kaksiulotteisesti X- ja Y-akseleilla, sijoittuu säteily tällöin kolmiulotteisesti Z-akselin suuntaiseksi (Kuva 4). Tällöin kentän voimakkuus pienenee kääntäen verrannollisesti etäisyyteen antennista.



**Kuva 4 Sähkömagneettisen aallon eteneminen [7]**

### *3.2 Tehotiheys*

Altistumisen määrittämiseksi kaukokentässä tarvitsee mitata joko sähköinen tai magneettinen komponentti. Altistumista kuvaa tehotiheys (S), joka saadaan kaavasta:

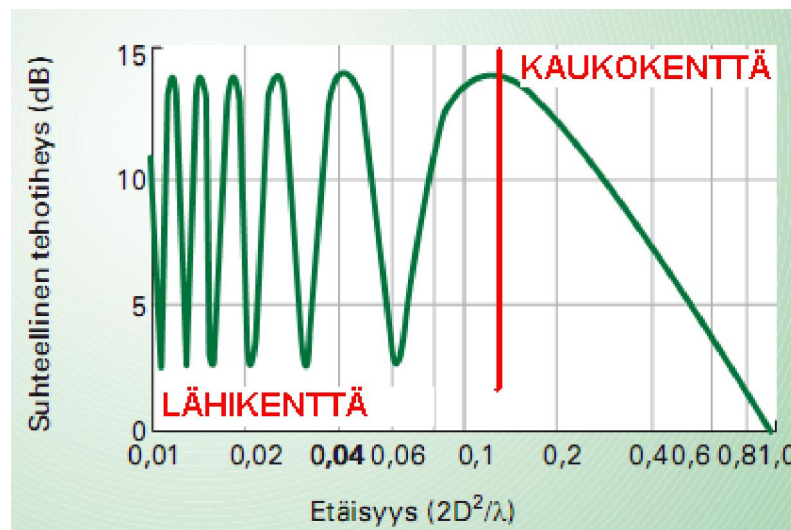
$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 * Z_0$$

missä  $Z_0 = 377 \Omega$  (tyhjö, ilma)

Lähikentässä sähkö- ja magneettikentät vaihtelevat suuresti. Tällöin myös voimakkuudet vaihtelevat nopeammin. Siksi lähikentässä sähköinen ja magneettinen komponentti on mitattava erikseen. [7]

### 3.3. Lähi- ja kaukokenttä

Kun tullaan tarpeeksi lähelle säteilylähdettä, alkaa antennin eri pisteistä tulevien aaltojen välillä esiintyä vaihe-eroja, jotka vaimentavat säteilyä ja pienentävät antennin vahvistusta. Tällöin puhutaan säteilylähikentästä (kuva 5). Vaihe-erojen vaikutus alkaa olla suuri etäisyydellä  $D^2/2$ , missä  $D$  on likimain antennin läpimitta ja  $\lambda$  on säteilyn aallon pituus. Lähikentän rajaetäisyydellä antennin aaltojen suurin vaihe ero on  $90^\circ$ . Lähikentässä kenttä vaihtelee todella voimakkaasti etäisyyden funktiona eivätkä tehotiheyden maksimiarvot juurikaan muutu. Lähikentässä tarvittavia SAR-mittauksia on käsitelty tarkemmin luvussa 5.



Kuva 5 Tehotiheyden vaihtelu lähi- ja kaukokentässä [8]

## 4 Säteilylle altistuminen ja terveysvaikutukset

### *4.1 Altistuminen*

Suuritehoisten lähteiden läheisyydessä voimakkailla kentillä altistuvat vain lähteiden läheisyydessä olevat henkilöt. Perusväestön kannalta merkittävin säteilylähde onkin matkapuhelin. Matkapuhelimen säteilyteho on varsin pieni, mutta altistumisriskiä kasvattaa se, että laite on hyvin lähellä kehoa. Suomessa matkapuhelinliittymien tiheys on myös maailman suurimpia. [3.] Jatkuva matkapuhelimien ja langattoman liikenteen lisääntyminen tarkoittaa myös sitä, että myös tukiasemien määrä kasvaa jatkuvasti.

Altistuminen syntyy, kun keho tai sen osa on alttiina säteilylle. Sähkömagneettisen kentän luonne ja vaikutukset riippuvat suuresti taajuudesta, joten eri taajuuksisia säteilyjä mitataan erilaisin suurein, kuten virrantiheyden, pintasähkökentän, tehotiheyden tai SAR:in avulla. Koska matkapuhelinta pidetään tyypillisesti hyvin lähellä kehoa, tapahtuu altistuminen lähikentässä. Tästä syystä matkapuhelimen aiheuttaman radiotaajuisen kentän voimakkuutta voidaan mitata ainoastaan ominaisabsorptionopeutena eli SAR-arvolla (W/kg) sekä sähkökentän voimakkuutena kudoksessa. [3] SAR-mittauksia on käsitelty tarkemmin luvussa 5.

Matkapuhelimen säteilee joka suuntaan ja käyttäjään voi absorboitua 10–90 % säteilyn tehosta. Absorption suuruus riippuu pääasiassa etäisyydestä antenniin, säteilytehosta sekä taajuudesta. Lisäksi siihen vaikuttavia tekijöitä ovat antennin tyyppi, kotelon muoto sekä materiaali, puhelimen asento, pään ja käden anatomia sekä kudosten sähköiset ominaisuudet. [3]

Tukiasemien antennit on asennettu siten, että väestön altistuminen jää mahdollisimman pieneksi. Tukiasemien lisääntyminen on aiheuttanut väestön keskuudessa huolta. Väestön kannalta merkittävin säteilylähde on kuitenkin pään vierellä oleva matkapuhelin. [3]

Tukiasemilla työskentelevät kuuluvat suurimpaan riskiryhmään, sillä he työskentelevät usein tukiasemien lähellä, missä säteily on suurin. Antennien lähellä asetetut altistumisrajat usein ylittyvät. Normaalikansalaisilta on yleensä pääsy kielletty tukiasemien läheisyyteen. [3]

## ***4.2 Säteilyn terveysvaikutukset***

### **4.2.1 Ionisoimaton säteily**

Tutkimusten mukaan matkapuhelimen ja tukiaseman lähettämät radioaallot ovat energialtaan niin pieniä, etteivät ne kykene rikkomaan kemiallisia sidoksia, esimerkiksi vaurioittamaan DNA:ta ja aiheuttamaan syöpää. [1]

Tunnetuimpia sähkömagneettisten kenttien aiheuttamia haittavaikutuksia ovat hermostimulaatio ja kudosten lämpötilan nousu. Näitä haittavaikutuksia ei kuitenkaan esiinny, ellei kentän voimakkuus ylitä tiettyä kynnystasoa. Vaikutukset eivät myöskään määräydy suoraviivaisesti ajan ja voimakkuuden tulona. Altistumista pyritään kuvaamaan esittämällä altistumisen voimakkuutta, kestoa ja vaihtelua kuvaavia tunnuslukuja. [3]

Matkapuhelinsäteilyn seurauksena aivojen pinnan lämpötila nousee paikallisesti maksimissaan 0,3 astetta ja ihon lämpö hieman enemmän. Näin pienellä lämpötilan nousulla ei ole fysiologisesti merkitystä, eivätkä biolääketieteelliset tutkimukset viittaa siihen, että matkapuhelimen käytöllä olisi haitallisia terveysvaikutuksia. Säteilyturvakeskuksen mukaan vasta viiden asteen lämpötilan nousu aivoissa alkaa vaurioittaa soluja. Lieväkin lämpötilan nousu tai muu sähkökentän suora vaikutus voi kuitenkin aiheuttaa tilapäisesti pieniä proteiinimuutoksia kudoksiin. [1] ja [3]

Esimerkiksi syövän kehittyminen kestää kuitenkin vuosia, eikä matkapuhelimien käytöllä ole vielä pitkää historiaa. Ei siis voida sulkea pois sitä mahdollisuutta, että myöhemmissä tutkimuksissa löydetäisiin yhteys matkapuhelinsäteilyn ja terveysvaikutusten väliltä.



#### 4.2.2 Ionisoiva säteily

Ionisoiva säteily puolestaan voi sekä luonnonsäteilynä että keinotekoisena säteilynä vahingoittaa elävien solujen perimää. Lyhyessä ajassa saatu suuri annos ionisoiva säteilyä voi aiheuttaa solujen tuhoutumista ja täten johtaa säteilysairauteen, paikalliseen vammaan tai sikiövaurioon. Tämä ei kuitenkaan koske ionisoimatonta matkapuhelinsäteilyä. [1]

#### *4.3 Altistumisen välttäminen*

Altistumisen vähentämiseen on olemassa erilaisia ohjeita, vaikka matkapuhelinkäyttö onkin todettu varsin turvalliseksi. Ensimmäinen keino on vertailla matkapuhelinvalmistajien tai säteilyturvakeskuksen tarjoamia altistumista kuvaavia arvoja. Lisäksi vanhempien tulisi rajoittaa lasten matkapuhelinkäyttöä erityisesti puheluiden osalta, sillä lasten matkapuhelinkäytöstä ei ole olemassa tutkimustuloksia. Jos matkapuhelinta kuitenkin käytetään, ovat tekstiviestit ja handsfree -laitteet oivallinen keino vähentää altistumista. Lisäksi pienikin etäisyyden kasvattaminen tai esimerkiksi vyökotelon käyttäminen vähentää altistumista. [3]

Heikko tukiaseman kenttä puolestaan saattaa kasvattaa yhteyttä muodostaessa matkapuhelimen säteilytehon jopa satakertaiseksi joissakin järjestelmissä. Myös kännykkäsuoja saattaa heikentää tukiaseman ja matkapuhelimen välistä yhteyttä ja täten kasvattaa säteilyn määrää. [3]

Koska matkapuhelimen fyysisillä ominaisuuksilla on todettu olevan vaikutusta säteilyn määrään, tulisi aina varmistaa, että käytettävä matkapuhelin on kaikin puolin ehjä ja toimiva. Täten voidaan paremmin luottaa valmistajan ilmoittamaan säteilymäärään.

## 5 SAR -mittaukset

### *5.1 Mikä on SAR*

Tarkka tieto matkapuhelinsäteilyn altistumisen määrästä saadaan määrittämällä taajuusalueesta riippuen joko virrantiheys kudoksessa tai SAR-arvo. Tässä kappaleessa käsitellään näistä oleellisempaa SAR-mittausta. SAR on suure, joka kertoo miten paljon energiaa radiotaajuisesta sähkömagneettisesta kentästä absorboituu ihmiskehon kudoksiin. [1]

SAR-arvo riippuu sähkömagneettisen kentän voimakkuudesta, taajuudesta sekä polarisaatiosta. Lisäksi siihen vaikuttaa henkilön koko ja muoto, heijastavat pinnat sekä henkilön kontakti maahan. [7]

### *5.2 Mittausperiaatteet*

Sähkö- ja magneettikenttien mittaustapoja on monia ja oikean valitseminen riippuu altistumistilanteesta. Mittauksessa on olennaista, että mittausta suorittaessa on mittapään oltava mahdollisimman pieni, jotta mittaus ei vaikuttaisi mitattavaan kenttään. Mittaustavan valintaan vaikuttavat myös seuraavat asiat:

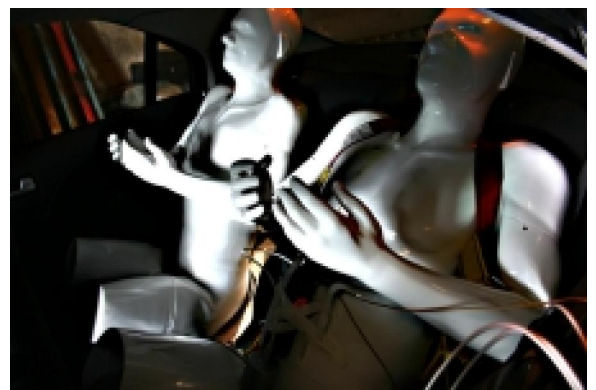
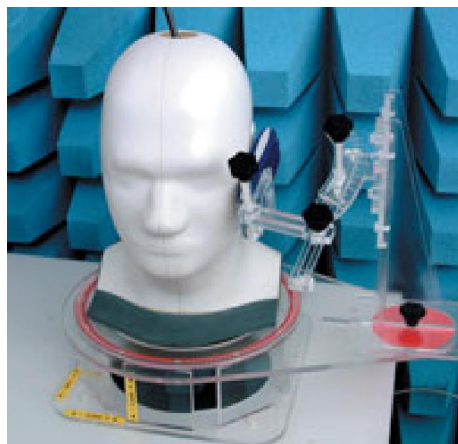
- § kentän taajuus ja spektri
- § kentän aaltomuoto
- § etäisyys säteilylähteestä
- § altistumislunne
- § altistuvan henkilön vaikutus lähteen säteilyominaisuuksiin
- § standardien esittämät vaatimukset. [9]

On erittäin haastavaa määrittää sähkö- ja magneettikenttä täydellisesti mittaamalla. Altistumista mitataan yleensä monimutkaisesti jakaantuneessa lähikentässä, tällöin määrittämisessä on tehtävä kymmenissä eri pisteissä. Mitattavan kentän amplitudi ja spektri voivat vaihdella epäsäännöllisesti eri pisteissä. Laajakaistainen kenttä saattaa sisältää tuhansia merkittäviä

spektrikomponentteja. Tämän takia on tärkeää rajata mittausdata altistumisen kannalta tärkeisiin suureisiin ja käyttää kuhunkin mittaustilanteeseen sopivaa mittausten menetelmää. [9]

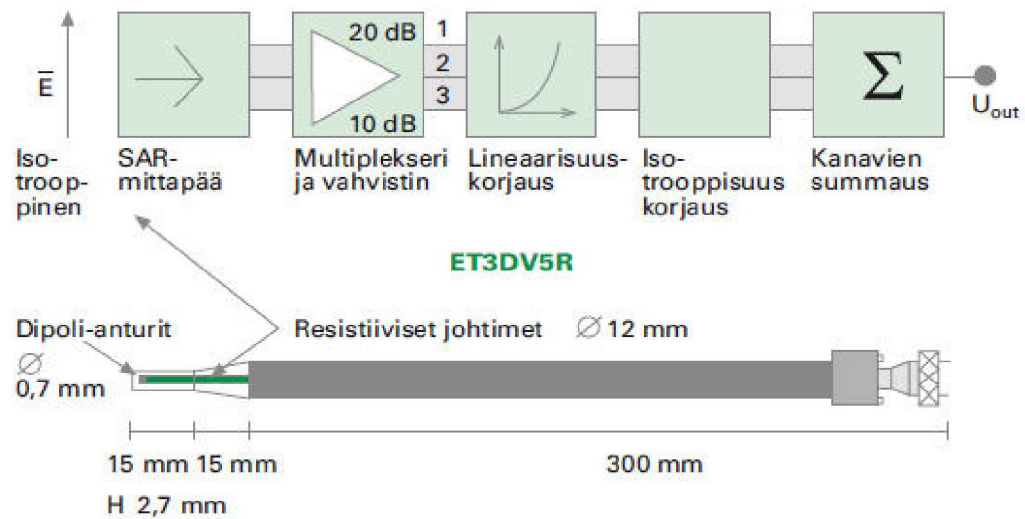
### *5.3 Mittalaitteet*

Matkapuhelimella soitettaessa tiettyyn pisteeseen kohdistuva absorptio voi olla hyvinkin voimakas, kun taas samanaikaisesti koko kehon absorptio jää pieneksi. Sähkö- ja magneettikentän voimakkuuden viitearvot voivat ylittyä selvästi, mutta SAR:in (Specific absorption rate) raja-arvot eivät välttämättä ylitä. Ihmistä ei tietenkään mittauksissa voida käyttää, joten mittauksissa hyödynnetään mahdollisimman tarkkaa jäljennöstä ihmiskehosta, jotta saataisiin mahdollisimman tarkat tulokset. Näitä jäljennöksiä kutsutaan fantomeiksi (kuva 6). Fantomeilla on useita eri valmistajia, joten niissä saattaa olla materiaalien ja rakenteiden osalta suuriakin eroavaisuuksia. Kaikilla fantomeilla kuitenkin on sama tarkoitus, joka on jäljitellä ihmiskehoa mahdollisimman tarkasti. [9]



**Kuva 6 SAR-mittausten fantomeja [9]**

SAR-arvo voidaan määrittää mittaamalla sähkökenttä kudoksen sähköisiä ominaisuuksia jäljittelevästä nesteestä. Mittauksessa käytetään pienikokoista isotrooppista mittapäätä (kuva 7). [9]



**Kuva 7 SAR-mittapään rakenne [9]**

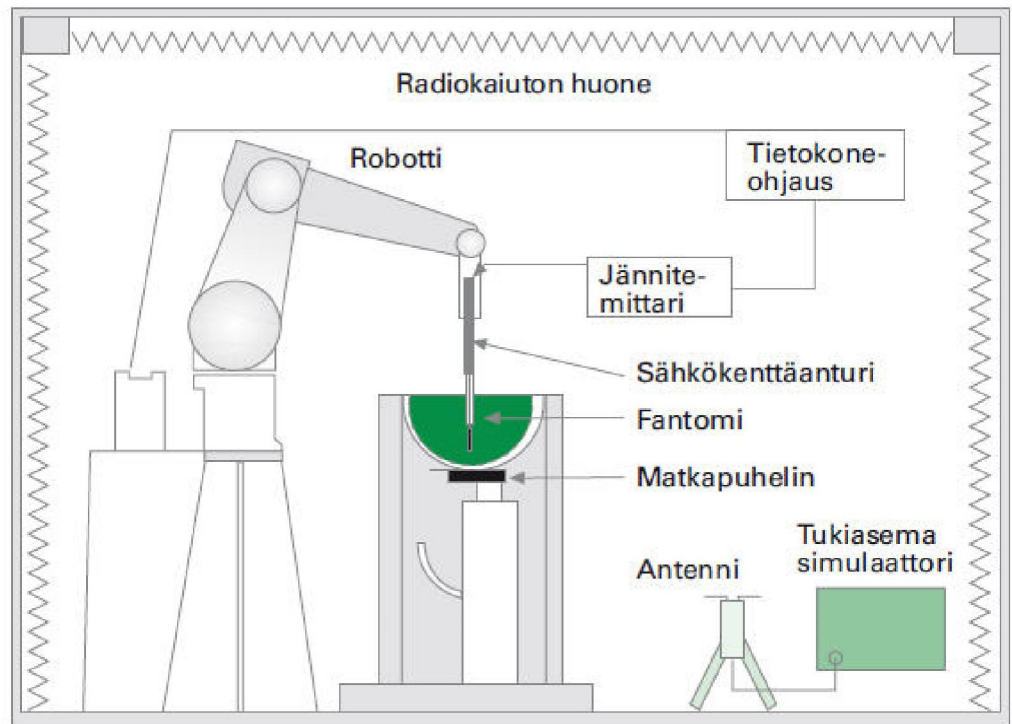
Mittapää koostuu kolmesta toisiaan vastaan kohtisuorassa olevasta samanlaisesta dipolianturista, jotka ovat muovisuojan sisällä. Dipoleihin indusoituva RF-jännite ilmaistaan diodilla ja ilmaistu signaali viedään SAR-mittapään päähän johtimia pitkin. Vahvistin liitetään varren päähän, josta luetaan antureiden signaalit tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. Mittapäällä mitataan fantomin sisältä sähkökentän kolmiulotteista jakaumaa. 3 GHz taajuuteen asti voidaan mittaukset suorittaa SAR-mittapäillä, siitä isommilla taajuuksilla tulee virheellisiä mittaustuloksia. [9]

## 5.4 Mittaustapahtuma

Kuvassa 8 on esitetty yksinkertainen SAR-mittaus. Tietokoneella ohjaan robottia johon on kiinnitetty mittapää. Mittapäättä liikutetaan mittauspisteissä fantomin sisällä ja tieto luetaan mittapisteistä tietokoneelle. Kustakin mittapisteestä saadaan sähkökentän voimakkuuden tehollisarvo  $E$ .  $E$ :tä hyväksi käyttäen voidaan SAR laskea kaavasta:

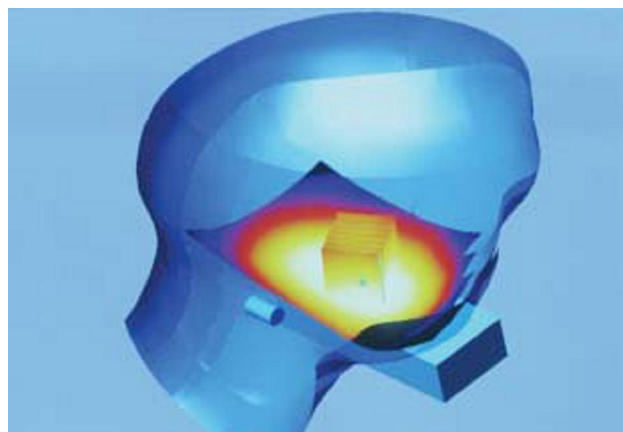
$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

$\sigma$  kudosekvivalentin johtavuus  
 $E$  sähkökentän voimakkuus  
 $\rho$  kudosekvivalentin tiheys [9]



**Kuva 8 SAR-mittaustapahtuma [9]**

Saaduista pistemäisistä SAR-arvoista määritetään keskiarvoja SAR-arvoille 1g tai 10g painavassa kuutiossa. 10g on näistä yleisempi, koska verenkierron katsotaan tasaavan terävät lämpöhuiput lämpötilamittauksissa. Kuvassa 9 näkyy selkeästi mitattava kuution muotoinen alue. Jotta saatuja arvoja voidaan verrata SAR-tasolle määriteltuihin arvoihin, täytyy saaduista kesiarvoista etsiä vielä maksimiarvo. EU:ssa ihmisille asetettu maksimiarvo on 2 W/kg. [9]



**Kuva 9 SAR -mittauskuutio [10]**

### 5.5 Mittaaminen lämpötila-antureilla

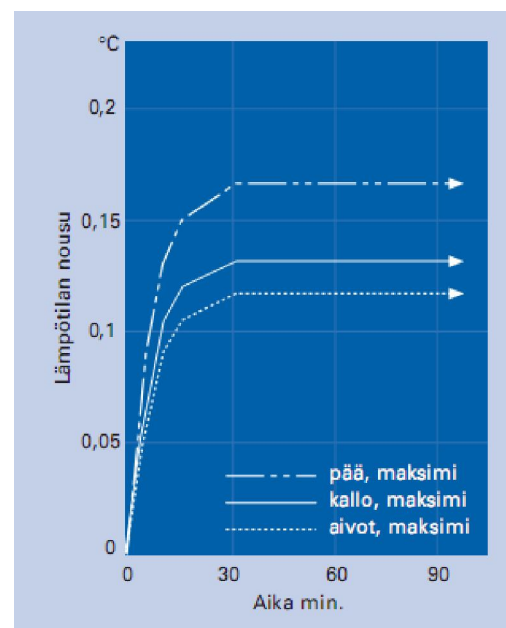
On myös toinen tapa määrittää SAR, mittaamalla lämpötilan nousu  $T$  tietyn pituisella alustuksella ajalta  $t$ .

$$SAR = \frac{c\Delta T}{\Delta t}$$

$c$  = aineen ominaislämpökapasiteetti

Käyttäessä lämpötilaan perustuvaa menetelmää, on oletettava, että lämmönsiirtymistä ei tapahdu, siksi altistumisaika tulee olla lyhyt. On myös muistettava, että lämpötila-anturi ei saa häiritä fantomin sisäistä sähkökenttää. Sähkökenttää häiritsemättömiä antureita on useita erilaisia, jokaisella on huonot ja hyvät puolensa. Lämpötilatekniikalla mitattava SAR-mittaus on hitaampaa, koska mittauksessa on odotettava, että fantomin lämpötila ei muutu. Lämpötilatekniikalla voidaan mitata isoja SAR-arvoja, jopa 6 GHz taajuudelle asti. Infrapunakameroilla voidaan myös mitata säteilytettyä pintaa, mutta tekniikka on kohtuullisen epätarkka. Teoriassa on laskettu, että infrapunakamera-tekniikalla olisi mahdollista mitata SAR-arvoja 300 GHz taajuudelle asti. [9]

Kuvassa 10 on esitetty graafiset käyrät matkapuhelimen säteilyn aiheuttamasta pään, kallon ja aivojen lämpötilan nousemisesta. Mittauksessa käytettiin perus GSM – puhelinta lähetystehon ollessa suurimmillaan. [11]



Kuva 10 Pään lämpötilan nouseminen [11]

## ***5.6 Mittaustulosten analyysi***

Matkapuhelimien ja tukiasemien säteilyarvojen mittauksen suorittamista varten on laadittu kansainväliset standardit. Saaduista tuloksista on myös laadittu sallitut rajat säteilymäärille. ICNIRP:N asettama SAR-raja-arvo pään ja vartalon osalta on maksimissaan 2 W/kg. Raajoissa sallittu arvo on puolestaan 4W/kg. [1] ja [9]

Kahden watin säteily määrä kilogrammaa kohti on väestöä varten asetettu perusraja. Työterveyslaitoksen mukaan alan työntekijöitä varten on kuitenkin määritetty erilliset altistumisen raja-arvot, jotka ovat perusrajaan nähden viisinkertaiset. [7]

Mikäli SAR-mittauksessa saadut tulokset ovat säädettyjä perusrajoja tai altistumisen raja-arvoja pienemmät, ei säteilyllä ole todettu olevan terveydellisiä vaikutuksia.

## ***5.7 Matkapuhelimien SAR-arvot***

Säteilyturvakeskuksen tutkimuksissa on voitu osoittaa, että altistuminen matkapuhelinsäteilylle on hyvin paikallista, sillä SAR rajoittuu hyvin pienelle alueelle. Keskimääräinen matkapuhelinsäteilyn aiheuttama SAR on 0,5–1,3 W/kg. Perusrajoitus ei ole tutkimuksissa siis ylittynyt, mutta valtaosa puhelimista yltää lähes 1 W/kg arvoon. Suurin Säteilyturvakeskuksen saama SAR-arvo GSM- ja UMTS -puhelimille on n. 1,4 W/kg. NMT -puhelimissa päästiin jopa viiteen wattiin kilogrammaa kohti. [1] ja [3]

NRPB:n tutkimusten mukaan teholtaan 1W TETRA -puhelin aiheuttaa keskimäärin 0,9 W/kg korvan kohdalla ja 0,24 W/kg kasvojen kohdalla. Teholtaan 3 W puhelimen vastaavat arvot ovat 2,9 W/kg ja 0,5 W/kg. Viranomaiskäytössä olevat TETRA -järjestelmän antennit on kuitenkin usein sijoitettu kiinteästi ajoneuvojen ulkopuolelle. Työntekijöiden kohdalla altistumisen enimmäisarvo voi ylittyä antennin läheisyydessä, mutta sitä voidaan vähentää handsfree -laitteiden avulla. [3]

Myös matkapuhelinvalmistajat ilmoittavat oman näkemyksensä valmistettujen puhelimen SAR-arvoista. Säteilyturvakeskuksen mukaan nämä arvot täsmäävät  $\pm 30 \%$  tarkkuudella Säteilyturvakeskuksessa saatuihin arvoihin. [3]

Suomessa Säteilyturvakeskus suorittaa kansainvälisesti standardoituja SAR-mittauksia yleisimmille käytössä oleville matkapuhelinmalleille. Liitteessä 1 on esitetty vuoden 2009 alussa päivitetty listaus matkapuhelinmallien SAR-arvoista.



## 6 Matkapuhelinsäteily puhuttaa

Erilaisissa tiedotteissa ja lehtiartikkeleissa on viime vuosien aikana usein ruodittu matkapuhelinsäteilyn vaarallisuutta. Useimmiten yksittäinen säteilyn vaarallisuutta tukeva artikkeli on kuitenkin hyvin pian kuitattu toisella kirjoituksella, jossa ensimmäisen artikkelin väitteet on kumottu tai ne on osoitettu peruskäyttäjän kannalta vaarattomiksi. Seuraavassa on esitetty muutamia esimerkkejä tällaisista tapauksista sekä kuvaus matkapuhelinten haittavaikutuksia tutkivasta COSMOS -projektista.

Jo vuonna 2002 Säteilyturvakeskuksen tutkimuksissa huomattiin kännykän säteilyllä olevan vaikutusta solun tukirangan aktiinin toimintaan. Kaksi vuotta myöhemmin löydettiin vimentin -proteiini, joka muuttui kännykän säteilystä. Minkäänlaista vaaraa käyttäjälle ei kuitenkaan todettu olevan, kun säteilyarvot pysyvät sallituissa rajoissa. [12]

Hännisen et al. vuonna 2007 julkaistun teoksen mukaan kännykkä aiheuttaa suuria riskejä erityisesti lapsille. Ajatuksia herättää erityisesti toteamus, että pitkäaikaisesta käytöstä ei ole vielä kokemuksia, eikä täten myöskään tutkimustietoa. Monet terveysvaikutukset vievät pitkiäkin aikoja syntyäkseen. Kirjassa esitettiin myös, että varsinaisten matkapuhelimien lisäksi tukiasemat, 3G-verkot sekä langattomat lähiverkot aiheuttavat säteilyä, jota ei vielä ole tutkittu tarpeeksi. [13]

Helsingin Sanomat julkaisi 18.6.2009 artikkelin, jonka mukaan kännykät ovat vaarallisia, sillä niiden lähettämät elektromagneettiset aallot tunkeutuvat kehoon. Suurimmassa vaarassa todettiin olevan lapset ja nuoret, joiden elimet vielä kehittyvät. Saman tien julkaistiin kuitenkin toinen artikkeli, jossa edelliset väitteet kumottiin. Artikkelissa todettiin, ettei matkapuhelimien ja syövän välillä ole osoitettu olevan yhteyttä, mutta asian laajuuden vuoksi tutkimuksia on jatkettava. [14]

Tammikuussa 2009 julkaistussa Iltalehdessä todettiin matkapuhelimien olevan vaarallisia lapsille. Kyseisessä artikkelissa ei kuitenkaan ollut kyse matkapuhelinsäteilystä vaan kyseessä oli Alabaman yliopiston tutkimustulos, jonka mukaan matkapuhelimeen puhuminen madaltaa lasten huomiokykyä ja lisää siksi riskiä joutua liikenneonnettomuuden uhriksi. [15]

COSMOS -tutkimus on hiljattain käynnistynyt projekti, minkä tarkoituksena on selvittää matkapuhelimen käytöstä johtuvan sähkömagneettikentän yhteyttä aivokasvaimiin, hermostollisiin sairauksiin (mm. MS-tauti, Alzheimerin tauti, Parkinsonin tauti) ja oireisiin (päänsärky, unihäiriöt, mielialahäiriöt ja korvien soiminen). Tutkimuksen on pistänyt alkuun WHO (World Health Organization) ja vastaavat hankkeet toteutetaan Suomen lisäksi myös Hollannissa, Iso-Britanniassa, Ruotsissa ja Tanskassa. Tutkimus on osa WIRECOM:in (Wireless Communication Devices and Human Health) tutkimusohjelmaa. [16]

COSMOS -tutkimukseen osallistuu 18–69-vuotiaita matkapuhelimen käyttäjiä. Tavoitteena on saada yli 100 000 henkilöä osallistumaan tutkimukseen jokaisessa hankemaassa vuosien 2009–2011 aikana. Koehenkilöitä tarkkaillaan ainakin 10 vuoden ajan, jotta päästään paremmin perille säteilyn haittavaikutuksista. Ensimmäisiä tutkimustuloksia on odotettavissa aikaisintaan vuonna 2015. [16]

## 7 Yhteenveto

Opinnäytetyöni tavoitteena oli koota tietopaketti matkapuhelinsäteilystä, sekä sen mittaamisesta että terveydellisistä vaikutuksista. Matkapuhelimien yleistymisen myötä on terveydellisiä vaikutuksia alettu tutkia yhä enemmän ja enemmän.

Matkapuhelinsäteilyn altistumisen mittaamiseen on olemassa erilaisia keinoja. Tärkein ja yleisin keino altistumisen mittaamiseen on SAR-arvon selvittäminen. Suomessa STUK vastaa puhelimien yleisestä testaamisesta ja pitää huolen siitä, että puhelimet säteilevät sallituissa rajoissa.

Säteilytutkimuksissa löydetty terveysriskit liittyvät lähes poikkeuksetta ionisoivaan säteilyyn, jolla ei ole kuitenkaan yhteyttä matkapuhelinjärjestelmään. Saattaa siis olla mahdollista, että ajatus matkapuhelinsäteilyn vaarallisuudesta johtuu nimenomaan ionisoivan säteilyn maineesta ja tiedonpuutteesta.

Toistaiseksi ionisoimattomalla matkapuhelinsäteilyllä ei ole todettu olevan vaikutusta käyttäjän terveydentilaan. Uusia ja erilaisia tutkimuksia tulee koko ajan ja niiden tarkoitus on selvittää matkapuhelimen käytön todelliset vaarat. Joidenkin terveyshaittojen, esimerkiksi syövän, kehittyminen saattaa kuitenkin kestää vuosia, joten on mahdotonta nopeilla tutkimuksilla selvittää, onko niillä mitään tekemistä toistensa kanssa. Tulevaisuuden lisätutkimukset ovat siis tarpeen.

## Lähteet

- [1] Säteilyturvakeskuksen verkkosivut – Säteilytietoa. [Viitattu 26.11.2009].  
Saatavilla: [http://www.stuk.fi/sateilytietoa/fi\\_FI/index/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/fi_FI/index/)
- [2] Säteilyturvakeskuksen verkkosivut – Säteilyn käyttökohteita. Päivitetty 27.4.2009.  
[Viitattu 26.11.2009]. Saatavilla:  
[http://www.stuk.fi/sateilyn\\_kaytto/fi\\_FI/kayttokohteita/](http://www.stuk.fi/sateilyn_kaytto/fi_FI/kayttokohteita/)
- [3] Säteilyturvakeskuksen julkaisut – Sähkömagneettiset kentät – Säteilylähteet ja altistuminen. [Viitattu 15.11.2009]. Saatavilla pdf-muodossa:  
[http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6\\_files/12222632510021208/default/6\\_9.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6_files/12222632510021208/default/6_9.pdf)
- [4] Näin toimii gsm-matkapuhelinverkko [viitattu 15.12.2009].  
Saatavilla: [http://www.ficom.fi/tietoa/tietoa\\_4\\_1.html?Id=1038221839.html](http://www.ficom.fi/tietoa/tietoa_4_1.html?Id=1038221839.html)
- [5] The GSM Standard. [viitattu 14.12.2009] Saatavilla:  
<http://en.kioskea.net/contents/telephonie-mobile/gsm.php3>
- [6] Rantala Ari 2009. Kurssimateriaali: Langattomat tietoliikennejärjestelmät – GSM verkon rakenne.
- [7] Alanko, T. & Hietanen, M. Työterveyslaitos 2006. Turvallinen työskentely tukiasemien lähellä. Edia Prima Oy. Saatavilla pdf-muodossa:  
<http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/6D7E3F1A-E817-49CD-905E-4BA00B5DA691/0/Turvallinentyoskentelytukiasemienlahella.pdf>
- [8] Korpinen, L., Elovaara, J. & Puranen, L. Säteilyturvakeskuksen julkaisun liite.  
Saatavilla pdf -muodossa:  
[http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6\\_files/12222632510021211/default/6\\_Liitteet.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6_files/12222632510021211/default/6_Liitteet.pdf)
- [9] Säteilyturvakeskuksen julkaisut – Sähkömagneettiset kentät – Altistumisen mittaus ja laskentamallit. [viitattu 20.10.2009]. Saatavilla pdf-muodossa:  
[http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/kirjasarja/fi\\_FI/kirjasarja6\\_files/12222632510021209/default/6\\_10.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja6_files/12222632510021209/default/6_10.pdf)
- [10] Säteilyturvakeskus – Ionisoimattoman säteilyn laboratorio [viitattu 8.12.2009].  
Saatavilla: [http://www.stuk.fi/tutkimus/laitteet/fi\\_FI/sar\\_mittaus/](http://www.stuk.fi/tutkimus/laitteet/fi_FI/sar_mittaus/)
- [11] Säteilyturvakeskuksen katsaus [viitattu 1.12.2009] Saatavilla pdf-muodossa:  
[http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/fi\\_FI/katsaukset\\_files/12222632510026364/default/katsaus\\_matkapuhelimet\\_ja\\_tukiasemat.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/katsaukset_files/12222632510026364/default/katsaus_matkapuhelimet_ja_tukiasemat.pdf)
- [12] Digitoday - STUK: Kännykkäsäteilyllä biologisia vaikutuksia [viitattu 13.9.2009].  
Saatavilla: <http://m.digitoday.fi/?page=showSingleNews&newsID=200412534>

[13] Hänninen, O., Kinnunen, S., Nilsson, M., Tuormaa, E. & Kassinen, A 2007.  
Matkapuhelinteknologia – mitkä ovat terveysriskit? HouseProtector, 255 s.

[14] Helsingin sanomat – Suomen syöpätutkijat: Kännyköiden vaaroja liioiteltu  
[online]. Julkaistu 18.6.2009 [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa :  
<http://www.hs.fi/kotimaa/artikkeli/Suomen+sy%C3%B6p%C3%A4tutkijat+K%C3%A4nnyk%C3%B6iden+vaaroja+liioiteltu/1135237292198>

[15] Iltalehti – Kännykkä vaarantaa lapsen hengen [online]. Julkaistu 29.1.2009 [viitattu 1.9.2009]. Saatavissa : [http://www.iltalehti.fi/terveys/200901299001041\\_tr.shtml](http://www.iltalehti.fi/terveys/200901299001041_tr.shtml)

[16] Säteilyturvakeskuksen COSMOS-tutkimus [online, viitattu 11.12.2009].  
<http://www.cosmostutkimus.fi/>

[17] Säteilyturvakeskus - Matkapuhelinten säteilyn mittaukset [online, viitattu 10.12.2009]. Saatavilla:  
[http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat\\_laitteet/laitteiden\\_valvonta/fi\\_FI/matkapuhelimet/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat_laitteet/laitteiden_valvonta/fi_FI/matkapuhelimet/)

## Liite 1 Matkapuhelinten SAR-arvoja [17]

Puhelinmalli	STUKissa mitattu SAR (W/kg)	Valmistajan ilmoittama SAR ( W/kg)
<b>LG</b>		
LG C1100	1,00	1,12
LG KG110	1,12	0,728
LG KG275	0,96	0,956
LG KU250	1,23	1,24
LG L3100	1,23	0,30
<b>Motorola</b>		
Motorola C139	0,87	0,97
Motorola C200	0,80	0,78
Motorola C350	0,54	0,90
Motorola C550	0,79	0,71
Motorola C650	0,56	0,87
Motorola F3	0,54	0,72
Motorola L6	1,13	1,33
Motorola T191	0,96	1,01
Motorola V150	0,56	0,67
Motorola V180	0,77	0,87
<b>Nokia</b>		
Nokia 1100	0,68	0,67
Nokia 1112	0,65	0,78
Nokia 1600	0,62	0,82
Nokia 2100	0,55	0,55
Nokia 2600	0,53	0,80
Nokia 2610	0,58	0,56
Nokia 2650	0,48	0,54
Nokia 3100	0,63	0,76
Nokia 3200	0,55	0,56
Nokia 3220	0,59	0,78
Nokia 3310	0,91	0,96
Nokia 3510	0,58	0,66
Nokia 5100	0,47	0,48
Nokia 5140	0,86	0,77

Nokia 6021	0,37	0,72
Nokia 6030	0,62	0,70
Nokia 6060	0,65	0,77
Nokia 6085	0,71	1,15
Nokia 6100	0,61	0,60
Nokia 6103	0,48	0,75
Nokia 6151	0,84	1,02
Nokia 6220	0,65	0,66
Nokia 6270	0,28	0,74
Nokia 6610	0,97	0,63
Nokia 6630	0,69	0,83
Nokia 6810	0,87	0,82
Nokia 6822	0,71	0,67
Nokia 9500 Communicator	0,27	0,49
Nokia E51	0,97	1,47
Nokia E65	0,53	0,87
Nokia E71	0,53	1,33
Nokia N70	1,01	0,95
Nokia N73	0,85	1,12
Nokia N-Gage QD	0,48	0,57

#### **Samsung**

Samsung SGH-A800	0,88	0,96
Samsung SGH-B100	0,77	0,91
Samsung SGH-C100	0,74	0,60
Samsung SGH-E330	1,17	0,90
Samsung SGH-L760	0,78	0,554
Samsung SGH-X100	0,54	0,76
Samsung SGH-X200	0,87	0,74
Samsung SGH-X300	0,39	0,58
Samsung SGH-X450	1,13	0,98
Samsung SGH-X460	0,79	0,846
Samsung SGH-X510	0,77	0,781
Samsung SGH-X680	0,59	0,801
Samsung SGH-X820	1,15	0,639
Samsung SGH-Z540	0,38	0,54

**Siemens**

Siemens A55	0,45	0,56
Siemens A60	0,75	0,67
Siemens A65	0,28	0,49
Siemens A70	0,35	0,52
Siemens CF62	0,75	0,75
Siemens M55	0,80	0,64
Siemens MC60	0,60	0,67
Siemens ME45	1,12	0,98

**SonyEricsson**

SonyEricsson J230i	0,70	0,98
SonyEricsson J300i	1,31	1,02
SonyEricsson K500i	0,53	0,53
SonyEricsson T230	0,50	0,74
SonyEricsson T310	0,53	0,61
SonyEricsson T630	0,85	0,88
SonyEricsson W300i	1,03	1,20
SonyEricsson W350i	1,41	1,46
SonyEricsson Z200	0,77	0,94
SonyEricsson Z300	0,90	0,75
SonyEricsson Z310i	0,43	0,7

**Keskiarvo**

Keskiarvo	0,73	0,80
-----------	------	------

**Maksimi**

Maksimi	1,41	1,47
---------	------	------

**Minimi**

Minimi	0,27	0,30
--------	------	------